

# 明渠非等寬 75 度分流研究

## Non-Equal Width 75° Dividing Open Channel Flow

計劃編號：NSC89-2211-E032-038

執行期限：89 年 8 月 1 日至 91 年 1 月 31 日

主持人：許中杰 淡江大學水環學系

計劃參與人員：陳建文、吳翰萍、李政璞 淡江大學水環學系

### 一、中文摘要

藉由 75 度分流實驗，迴流區最大深度平均寬度與接觸長度會隨量量比增加而變大。於主渠上下游四倍渠寬處之能量約相等，故一般之能量公式可用於求得主渠上、下游水深比與流量比的關係式。量測三組支、主渠渠寬比與七組支主渠流量比之各斷面水深與流速，並配合質量、動量及能量守恒原理推導一維性 75 度分流之解析模式。應用速度—面積積分而求得另外，實驗顯示主、支渠交接處之流向角隨支、主渠流量比增加而減小。一維性分流渠流之解析模式之結果與實驗資料比較後發現其相當吻合。

關鍵詞：分流，流量比，速度—面積。

### Abstract :

Based on experimental observations, for a subcritical, open-channel, 75° dividing flow over a horizontal bed the recirculation width and length increase with the main channel downstream-to-upstream discharge ratio. The energy heads upstream and downstream of the division in the main channel are found to be almost equal. Under the assumption that the velocities are nearly uniformly distributed at the considered boundaries, the depth-discharge relationship follows

the commonly used energy equation. The predicted results correlate fairly with the experimental data from this and other studies. An expression for practical engineering applications is to determine the maximum possible branch-channel discharge at a given upstream discharge with a prescribed downstream Froude number or the maximum possible downstream Froude number if both branch- and main-channel discharges are prescribed. Key Word: Dividing Flow, Discharge Ratio, Velocity—Area Integration.

### 二、緣由與目的

明渠分流處，因流線分離而產生分流渠道之束縮現象及迴流區。束縮造成流量有效流通斷面積縮減且伴隨能量損失；若有效通水斷面太小而可能導致流量無法宣洩，則將可能發生臨界流況或水躍現象。

Law (1965)<sup>[1]</sup>，Lakshmana Rao 和 Sridharan (1968)<sup>[2]</sup>，Ramamurthy (1988)<sup>[3]</sup>，Ingle(1989)<sup>[4]</sup> Ramamurthy(1990)<sup>[5]</sup> 及 Hager(1992)<sup>[6]</sup> 推導一維性主渠上游福祿數，主渠上、下游流量比與水深比之關係式。

Neary and Odgaard (1993)<sup>[8]</sup> 進行非等寬明渠直交分流研究以探討三維性流況。本研究應用 John Linson

Grace, Jr(1958)<sup>[9]</sup>於不同分流角(30°, 60°, 90°, 120°)及支、主渠渠寬比(0.4, 1.0, 1.4)量測之主、支渠斷面水深與流量資料,並與楊氏(1997)<sup>[10]</sup>、樊氏(1998)<sup>[11]</sup>與林氏(2000)<sup>[12]</sup>之直交分流實驗與其他學之資料印證。

### 三、實驗配置、量測及流程

底坡為零之矩形渠槽位於淡江大學水工實驗室。側壁覆以 0.5 公分厚強化玻璃,分流處上游主渠長 5.3 公尺,下游長 6.3 公尺,支渠長 4.45 公尺。

本實驗使用可量測速度為± 250 cm/sec 間,而精確度為±2%之 ALEC ACM-250 型二維向電磁式流速儀量測流速。量測侷限於離渠底 12mm 之上至水面 15mm 以下的範圍。水位是以日製 Asia 尺規計量測,精度± 0.01mm。

流量分為七組主渠下游流量與上游流量比介於 15.149(l/sec) 至 10.604(l/sec)之間。於主支渠渠寬比為 1/1 時,主渠下游福祿數( $F_{rd}$ )介於 0.123 至 0.200 之間;支渠下游福祿數( $F_{rb}$ )介於 0.113 至 0.222 之間;而支、主渠渠寬比為 1/2 時,主渠下游福祿數( $F_{rd}$ )介於 0.104 至 0.203 之間;支渠下游福祿數( $F_{rb}$ )介於 0.268 至 0.450 之間,而支、主渠渠寬比為 1/3 時,主渠下游福祿數( $F_{rd}$ )介於 0.083 至 0.200 之間;支渠下游福祿數( $F_{rb}$ )介於 0.454 至 0.585 之間。實驗量測項目包含水深、主流向和側向平均流速及迴流區的再觸長度,流速量測斷面在主、支渠上、下游及分流區內共 26 至 28 個量測斷面。

### 四、一維性解析模式

影響分流流況的參數有主渠上、下游及支渠渠寬 ( $W_u$ ,  $W_d$ ,  $W_b$ ), 主

渠上、下游及支渠完全發展段水深 ( $Y_u$ ,  $Y_d$ ,  $Y_b$ ), 主渠上、下游流量 ( $Q_u$ ,  $Q_d$ ), 支渠流量 ( $Q_b$ ), 重力加速度 ( $g$ ), 分流角度 ( $\theta$ ), 渠底坡度 ( $S$ )。經無因次化後可表示為

$$F_3(\bar{Q}, \bar{Y}, \bar{Y}_b, \bar{W}, F_{rd}, F_{rb}) = 0 \quad (1)$$

其中:  $\bar{Q} = Q_d / Q_u$  = 主渠下游與上游流量比,  $\bar{Y} = Y_u / Y_d$  = 主渠上、下游完全發展斷水深比,  $\bar{Y}_b = Y_b / Y_u$  = 主渠上游與支渠完全發展斷水深比,  $W_b / W_u$  = 支、主渠渠寬比,  $F_{rd} = Q_d / (W Y_d \sqrt{g Y_d})$  = 主渠下游完全發展段福祿數及  $F_{rb} = Q_b / (W Y_b \sqrt{g Y_b})$  支渠下游完全發展段福祿數。主渠下游完全發展段福祿數也可應用主渠上游完全發展段福祿數代替。本文假設:(1) 恆態流,(2) 上游流況為亞臨界流且為完全發展流,(3) 垂直向壓力為靜水壓分佈忽略控制體積內之摩擦力及其衍生之摩擦損失及(4)。連續方程式可表示為:

$$Q_u = Q_b + Q_d \quad (2)$$

主渠流向之單位時間能量通量表示為:

$$\kappa Q_u E_u = \kappa Q_b E_b + \kappa Q_d E_d + \kappa Q_u \Delta H_e \quad (3)$$

式中,  $E$  = 能量;  $Q$  = 流量;  $W$  = 渠寬;  $Y$  = 水深;  $\kappa = \dots g$  = 水比重;  $\Delta H_e$  = 損失能量;  $K_e$  = 上游能量損失係數;  $g$  = 重力加速度。下標符號u、d與b分別表示為主渠上游完全發展段斷面,主渠下游完全發展段斷面與支渠下游完全發展段斷面。

本研究應用實際測得的流速進行積分即可得水深平均分流流線的位置，其積分可表示如下：

$$Q_s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n u_{i,j} \Delta W_{i,j} \Delta y_{i,j} \quad (4)$$

其中， $UW_{i,j}$  及  $UH_{i,j}$  分別表示某一斷面第  $i$  個垂直剖面及該剖面第  $j$  個流速測點  $u_{i,j}$  之寬度與水深， $m$  表示該垂向剖面數，而  $n$  則為該垂向剖面之流速測點數。而所得之值必須滿足  $W_u = W_{ud} + W_{ub}$  的條件。實驗顯示主渠上游斷面 ( $U_4$ ) 為完全發展流的假設可被接受。在分流流線求得後，以實驗資料知主渠上游四倍渠寬 ( $U_4$ ) 處分流流線左側能量 ( $E_{ud}$ ) 約略等於主渠上游四倍渠寬處之能量 ( $E_u$ )；同理，主渠下游四倍渠寬 ( $D_4$ ) 處之能量 ( $E_d$ ) 與上游四倍渠寬 ( $U_4$ ) 處分流流線左側能量 ( $E_{ud}$ ) 間的關係， $E_d$  約略等於  $E_{ud}$ ，此即表示斷面  $U_4$  為完全發展流況，且自斷面  $U_4$  至斷面  $D_4$  間，幾乎無能量的損失，故可表示為  $E_{ud} = E_d$ 。因此，由此結果可知  $E_u = E_d$ 。不同支、主渠渠寬比時，主渠下游四倍渠寬處 ( $D_4$ ) 及主渠上游四倍渠寬處 ( $U_4$ ) 之能量比與流量比的關係，故可表示為  $E_u = E_d$ 。此假設符合 Ramamurthy[5] (1990) 假設沿分流流線之能量損失可予以忽略不計，則可得下式：

$$\bar{Y}^3 - \left(1 + \frac{1}{2} F_{nd}^2\right) \bar{Y}^2 + \frac{1}{2Q^2} F_{nd}^2 = 0 \quad (5)$$

式 (6) 表示當  $\bar{Q}$ 、 $F_{nd}$  為已知時，主渠上游與主渠下游水深比 ( $\bar{Y}$ ) 為一

元三次多項式函數。此外，能量損失係數  $K_e$  為：

$$K_e = (1 - \bar{Q}) \left[ 1 - \frac{2\bar{Y}^3 + \frac{1}{2}(1 - \bar{Q})^2 F_{nd}^2}{\bar{Y}^2 (2 + F_{nd}^2)} \right] \quad (6)$$

其中； $\bar{Y} = Y_b / Y_u$  及  $\bar{Q} = W_b / W_u$ 。

本實驗，於渠寬比為 1/1、1/2 及 1/3 時， $\bar{Y}_b$  分別為 1.006、0.896 與 0.817。

#### 四、結果與討論

##### 1. 流向角

流向角 ( $U$ ) 表示主渠和支渠交接處，其與主渠平行的速度向量和垂直主渠的速度向量所生成的合向量，此合向量和支、主渠交接斷面之夾角。斷面平均流向角為：

$$U = \tan^{-1} \frac{\sum u_t^2}{\sum v_t^2} \quad (7)$$

其中： $u_t$  = 交接面測點縱向速度； $v_t$  = 交接面測點側向速度。結果顯示當流量比越大時，主支渠交接斷面之流向角越小，渠寬比越小斷面平均流向角越大。於本實驗之流量比範圍下，支渠入流斷面平均流向角  $\cos U$  會隨的增加呈線性遞增。

##### 2. 深度平均迴流區

深度平均最大迴流寬度 ( $W_c$ ) 及再觸長度 ( $L$ ) 可利用染料觀測後，再利用速度積分法藉已知支渠流量確認其位置。實驗結果顯示當支、主渠渠寬比固定時，迴流區的最大收縮斷面寬度 ( $W_c$ ) 隨流量比的增加而減小；於流量比固定時，隨渠寬比的增加，迴流區的最大收縮斷面寬度會逐漸減小。可看

出當流量比增加會導致支渠流量減少，使得迴流區寬度隨 $\bar{Q}$ 的增加而呈線性縮減。當水流自上游經分流區抵達支渠下游時，因通過迴流區產生強勁的渦流而有顯著的能量損失，且當支、主渠渠寬比愈小時，其能量損失愈大。

### 3. 福祿數與水深比

由式(6)可得於 $F_{rd}$ 及 $\bar{Q}$ 為已知時之 $\bar{Y}$ ；若 $\bar{Y}$ 有兩相異正根及一負根，則判別式需 $D>0$ ，而當 $D=0$ ，則 $\bar{Y}$ 有兩重根及一負根。判別式 $D$ 表示為：

$$D = \bar{Q} - \{F_{rd}^2 / [(2 + F_{rd}^2) / 3]^3\}^{1/2} \quad (8)$$

因此可知，若 $F_{rd}$ 及 $\bar{Q}$ 為已知且 $D>0$ 時，即可利用式(5)求解 $\bar{Y}$ 。

### 4. 能量損失係數

在本實驗分析知能量損失係數隨著流量比及上游福祿數的增加而增加。

### 5. 三維性迴流區橫向寬度與深度之關係

本研究假設垂向速度遠小於縱向及側向速度，因此應用各量測層之縱向速度一面積積分可得該量測層迴流區橫向的寬度，並得到三維性迴流區橫向寬度與深度之關係。迴流區呈現強烈性之三維性分佈，在迴流區內大部分斷面上，越接近水面迴流區寬度較大，而且從支渠入流面向支渠下游來觀察，由於受到分流角度噴流之影響，迴流區寬度會漸增，水流會流向近右測渠壁壓力較小的區域，但越往支渠下游能量衰減，所以迴流區寬度漸減。此外，在支渠入流處越接近渠底，受到轉彎角之影響，其流速會越小，所以會使的越接近渠底，迴流區範圍越小。另外在相同渠寬比之下，當流量比越大時，流入支渠流量較少，因此，在交接面流向角較小，所以會形成較大的迴流區寬度。

### 6. 支、主渠流量比與主渠下游福祿數

設 $\bar{Q}_b = Q_b / Q_u = 1 - \bar{Q}$ ，式(16)可

寫為：

$$\bar{Q}_b \leq G(F_{rd}) = 1 - \left\{ F_{rd}^2 / \left[ (2 + F_{rd}^2) / 3 \right]^3 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

實驗資料知 $\bar{Q}_b < G(F_{rd})$ ，且隨著 $\bar{Q}_b$ 增加， $F_{rd}$ 愈小。

應用(24)式可得當上游入流量已知時，則由下游福祿數可得知最大支渠流量為：

$$Q_{b,max} = Q_u \left\{ 1 - \left\{ F_{rd}^2 / \left[ (2 + F_{rd}^2) / 3 \right]^3 \right\}^{1/2} \right\} \quad (10)$$

亦可得允許主渠最大下游福祿數為：

$$F_{rd,max} = \left\{ \frac{6}{(1 - \bar{Q}_b)} \cos \left[ \frac{1}{3} \cos^{-1} (\bar{Q}_b - 1) + \frac{4\pi}{3} \right] - 2 \right\}^{1/2} \quad (11)$$

### 6. 工程應用

本研究應用微擾法推導一簡易之有限差分水深比預測模式，其為：

$$\bar{Y}_j(\bar{Q} - \Delta\bar{Q}) = \bar{Y}_j(\bar{Q}) - \frac{F_{rd}^2 / \bar{Q}^3}{3\bar{Y}^2 - 2\bar{Y}[1 + F_{rd}^2/2]} \Delta\bar{Q} \quad (12)$$

於上下游皆為亞臨界流況時，可由已知 $\bar{Q}=1$ 時 $\bar{Y}=1$ (完全發展流)，應用式(12)而求得 $\bar{Q}-\Delta\bar{Q}$ 之 $\bar{Y}$ ，即可得 $\bar{Q}$ 與 $\bar{Y}$ 之關係。

### 五、結論

本研究 75 度分流流況及分析顯示

- (1) 在主、支渠斷面交接處支流向角，當渠寬比越小時其流向角越大，而在相同渠寬比之下，流向角隨流量比增大而減小。
- (2) 主渠上游完全發展段（主渠渠寬四倍處）AB 與 AI 段之寬度比值隨流量比增加而變大。

- (3) 當支、主渠流量比越大則在迴流區有效寬度會越大。
- (4) 能量損失係數 ( $K_e$ ) 隨著流量比與上游福祿數( $F_{ru}$ )增加而增加。
- (5) 支渠受到束流區與迴流區現象的影響，所以會有較大的能量損失，當支渠變小時，其能量損失越大。
- (6) 迴流區之最大深度平均寬度與支渠渠寬比會隨支渠與主渠上游流量比增大而變小。
- (7) 迴流區內再觸長度與支渠渠寬比會隨支渠與主渠上游流量比增大而減小。
- (8) 形狀參數隨著支渠與主渠上游流量比增大而減小。
- (9) 迴流區分流流線平面寬度越接近水面其值越大，表示近渠底水流比近水面水流具有較大支出流率。
- (5) Ramamurthy, A.S., Tran, D.M. and Carballada, L.B.(1990). "Dividing Flow in Open Channels." J. Hydr.Engrg., ASCE, 116(3), 449-455
- (6) Hager, H. (1992). "Discussion of 'Dividing Flow in Open Channels.' by A.S. Ramamurthy, D.M. Tran, and L.B.Carballada." J. of Hydr. Engrg., ASCE, 118(4), 634-637.
- (7) Sridharan,L. ( 1966 ) . "Division of flow in open channels. " Thesis presented to the Indian Institute of Science, at Bangalore, India, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- (8) Neary, V.S. and Odgaard, A.J., (1993). "Three-Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions." J. Hydr. Engrg., ASCE, 119(11), 1223-1230

#### 參考文獻

- (1) Law,S.W., ( 1965 ) . "Dividing Flow in open channel, " thesis presented to McGill University at Montreal, Canada, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engrg.
- (2) Lakshmana Rao, N.S., Sridharan, L., and Baig, M.Y.A. (1968). "Experimental study of the division of flow in an open channel," Proc., Third Australasian Conference on Hydraulic and Fluid Mechanics, Sydney Australia, Nov., 139-142.
- (3) Ramamurthy, A.S. and Satish, M.G. (1988). "Division of Flow in Short Open Channel Branches." J. Hydr. Engrg.,ASCE, 114(4), 428-438
- (4) Ingle, R.N. and Mahankal, A.M. (1990). "Discussion of 'Division of Flow in Short Open Channel Branches.' by A.S. Ramamurthy and M.G. Satish." J. of Hydr. Engrg., ASCE, 116(2), 289-291.
- (9) John LinsonGrace,Jr(1958),"Division of Flow in Open Channel Junctions"
- (10) 楊景旭「非等寬交分流研究」，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文，台北（1997）。
- (11) 樊運成，「非等寬直交分流研究」，淡江大學水資源及環境工程研究所，碩士論文，台北（1998）。
- (12) 林逸政，「非等寬直交分流研究」，淡江大學水資源及環境工程研究所，碩士論文，台北（2000）。